

УДК 631.6.02

РЕСУРСЫ И ЭРОЗИОННЫЕ ПОТЕРИ ПОЧВ

Лисецкий Ф.Н., Маринина О.А.

*Национальный исследовательский университет
«Белгородский государственный университет», Белгород,
e-mail: liset@bsu.edu.ru*

Показаны перспективы использования в почвозащитном проектировании агроландшафтной структуры комплексных показателей, включающих не только скорости процессов, формирующих и разрушающих почву, но и оценку запасов почвенных ресурсов. Обоснование оптимального и критического значений почвенных ресурсов позволило определить ресурсы почвенного плодородия в трансзональном разрезе.

Ключевые слова: эрозия почв, почвенное плодородие, допустимые эрозионные потери, почвоводоохранная организация территории

Последствия эрозионной деградации почв и почвенного покрова многообразны (уменьшение мощности плодородного слоя почв, ухудшение их физико-химических и биологических свойств, изменение гранулометрического и минералогического состава пахотного горизонта, дефрагментация почвенного покрова). Интеграция всех результатов эрозионной деградации порой затруднительна, что обуславливает выбор нескольких первостепенных ее показателей. Мощность гумусового горизонта (H_r) – основной и легко определяемый параметр эрозионного контроля в полевых условиях. Кроме того, этот параметр морфологического строения профиля, наряду с гумусированностью почвы, используется во многих классификациях эродированности почв.

Современная методология почвозащитной организации агроландшафтов основана на геосистемном подходе. Максимально соответствует, т.е. может быть адаптирована к местным природно-хозяйственным условиям, почвозащитная **контурно-мелиоративная** организация территории и **система земледелия** на ее основе (КМСЗ), которая представляет собой рациональную, взаимосвязанную систему противоэрозионных и почвоулучшающих мероприятий на основе контурной (контурно-параллельной) территориальной организации землепользования, вписанной в структуру экологически сба-

лансированных агроландшафтов [9]. Проектная составляющая КМСЗ отличается определенной сложностью, а при внедрении такой системы, особенно на межхозяйственном уровне, требуется дополнительное финансирование. Поэтому о повсеместном внедрении КМСЗ говорить не приходится. Наиболее эффективно почвоводоохранные функции КМСЗ может обеспечить в полеводстве на склонах крутизной от 1,5 до 4,5°. В перспективе, как показало моделирование посредством линейного программирования [4], более 50% земель в США необходимо обрабатывать по контуру, если выполнять условие ограничения эрозии допустимыми пределами. В ЦЧР – одном из самых эрозионно опасных регионов России контурное земледелие должно занимать 30–45% площади пашни. Для земледельческой зоны России, наиболее радикальным шагом в решении проблем почвоводоохранного и экологического обустройства агроландшафтов следует считать переход, осуществляемый последние 25 лет: от внедрения отдельных почвозащитных приемов (число которых в 80-х годах XX в. превысило 100) к конструированию эффективных в почвозащитном отношении КМСЗ на ландшафтной основе. При этом впервые удастся реализовать системный подход к организации всей площади водосбора: от водораздела до тальвега балки, русла малой реки, т.е. учесть сложив-

шиеся горизонтальные связи ландшафтной структуры, траектории потоков вещества и энергии.

Структурно-функциональный каркас почвоводоохранной системы земледелия создают объекты постоянного действия в системе контурно-мелиоративной организации сельхозугодий и ландшафтно-экологической организации всей сельской местности. Проектирование структурных элементов КМСЗ осуществляют по водно-балансовым расчетам или путем расчета потенциального смыва почвы. Созданием рубежей регулирования стока воды и смыва почвы разных порядков в определенной степени реализуются принципы «геоники». В этих идеях имеется и своя предыстория. Уже в конце XIX в. земледельцами России были даны первые практические рекомендации по регулированию интенсивности стока талых вод с помощью простейших гидротехнических сооружений, создаваемых по горизонталям рельефа (изогипсам), в виде земляных валиков высотой 15–30 см [6]. При современной реализации КМСЗ разнообразные гидротехнические сооружения, выполняющие водозадерживающие функции и водонаправляющие функции (напашные валы, валы-канавы, валы-террасы, валы-дороги, валы-распылители, залуженные водосбросы), становятся инфраструктурными элементами агроландшафта не только стокорегулирующего и противоэрозионного действия, но и средоформирующего.

В почвоводоохранном проектировании альтернативой подходу, направленному на полное задержание стока гидротехническими сооружениями на пашне, может стать создание водорегулирующих валов-каналов с возможностью аварийного сброса стока воды (менее 10%-й обеспеченности) через залуженные ложбины [7]. Для сброса ливневого стока редкой повторяемости, а в Белгородской области, к примеру, максимальная суточная сумма осадков 10%-ной обеспеченности составляет 52 мм, целесообразно проектируемые водонаправляющие валы-канавы сочленять с залуженными водосбро-

сами. Водоотводящие ложбины, армированные поликомпонентными травосмесями 5–7-летнего действия, могут служить и биокоридорами, обеспечивающими связующую роль в структурной организации агроландшафтов и смежных земель [6].

За счет комплексной системы адаптивно-ландшафтных мелиораций на водосборах прибавка энергообеспеченности почв возрастает до 700 ГДж/га [1]. В КМСЗ решается не только задача регулирования водно-эрозионных потерь почвы, но и создаются условия для расширенного воспроизводства плодородия в рабочих участках с эрозионной деградацией земель. В системе контурного земледелия на склонах при условии обеспечения оптимального увлажнения почвы (0,6 ПВ) урожаи бобовых многолетних трав на сильноносмытых почвах могут достигать 74–95 % от урожая на несмытой почве [3].

Суть современного подхода к противоэрозионному проектированию структуры агроландшафтов заключается в расчете такого местоположения постоянно действующих рубежей регулирования водно-эрозионного процесса, при котором величина смыва не превышает допустимых потерь почвы.

Для обоснования основного норматива противоэрозионного проектирования до сих пор практикуется прямое сопоставление интенсивности смыва (и/или выдувания) почвы со скоростью почвообразовательного процесса, которая часто отождествляется с допустимыми эрозионными потерями почвы (ДЭПП). В Северной Америке и Европе ДЭПП, называемые «soil loss tolerance (T values)», – основной параметр для контроля почвозащитных мер. Уровни T, введенные Службой охраны природных ресурсов США, находятся в пределах от 2,2 до 11,2 т/га в год. Анализ нормативной шкалы T-фактора позволяет отметить две важные особенности принятого подхода. Во-первых, для самой маломощной почвы, с непреодолимыми ограничениями мощности корнеобитаемого слоя, T-фактор назначен не ниже 2,2 т/га. Во-вторых, для любой почвы на рыхлых материнских породах и

мощностью более 1,5 м допускаются ежегодные эрозионные потери в 11,2 т/га. При экспертном отнесении почвы к определенной группе учитываются способность почвы быть субстратом для посева растений, податливость к воздухо- и влагопроницаемости, общий почвенный объем как резервуар для воды и элементов питания. Даже при использовании явно завышенных уровней Т-фактора, что отмечают и американские ученые, фактические темпы эрозии превышают принятые нормы на 44 % площадей пахотных земель США.

Другой подход к обоснованию ДЭПП предполагает, что за 50 лет с вероятностью 95 % возможны потери, приводящие к уменьшению мощности H_T в пределах абсолютной погрешности ее измерения [8]. Это означает, что проведенные измерения через 50 лет не зафиксируют изменение мощности H_T (в пределах точности измерений: в почвенной съемке принято 3 см при резком переходе границ между горизонтами и 5 см при ясной форме границ). ДЭПП, принятые национальным стандартом Украины [2], варьируют от 0,3 до 1,5 т/га в зависимости от разной степени эродированности почв, т.е. при типичном в земледельческих районах соотношении в распределении площадей эродированных почв разных категорий снижение мощности плодородного слоя почвы в региональном масштабе составит за 50 лет порядка 3–4 мм. Вряд ли такие изменения доступны для мониторинга.

Таким образом, в одних случаях для обоснования ДЭПП используют критерий морфологического строения почвенного профиля, в других – оценки процессов (эрозии, почвообразования). Более перспективным подходом, чем сопоставление скорости почвообразовательного процесса с интенсивностью эрозии, является, по нашему мнению, применение комплексных методик, которые основаны на показателях, содержащих, помимо скоростей ресурсоформирующих и почворазрушающих процессов, также оценку запасов почвенных ресурсов. Одно дело, когда фиксированная величина

смыва, в том числе принятая как ДЭПП, соотносится с маломощной почвой, другое дело – с мощной. Известно, что габитус почв на таксономическом уровне вида дифференцирован в пределах мощности профиля от маломощного вида (< 25 см) до сверхмощного вида (> 145 см).

Из числа комплексных показателей определенное распространение за рубежом получила концепция расчета «срока службы (долговечности) почвы» (L_F , годы), который предложено [10] определять по формуле:

$$L_F = \frac{(D_E - D_O)M}{Z - Z_F}, \quad (1)$$

где D_E – доступная продуктивная мощность почвы, м; D_O – минимальная мощность почвы (или эффективный минимум корнеобитаемого слоя) для сельскохозяйственных культур, м (для отдельных культур принимается в диапазоне от 10 до 25 см); M – объем массы почвы, т/га на метр глубины почвы, т.е. плотность сложения в г/см³ × 1000; Z – расчетная скорость почвенных потерь, т/га в год; Z_F – оценочная скорость почвообразования, т/га в год.

По обоснованию используемых составляющих отличается от (1) «показатель потенциальной длительности расходования почвы при постоянной среднемноголетней величине смыва, годы», который по [5] имеет вид T_1 , но для иных задач предлагается его модификация в виде T_2 :

$$T_1 = \frac{10\gamma(H_{исх} - H_{опт})}{V_э - V_п};$$

$$T_2 = \frac{10\gamma(H_{опт} - H_{кр})}{V_э - V_п}, \quad (2)$$

где $H_{исх}$ и $H_{кр}$ – исходная и критическая мощности гумусового горизонта, мм; $H_{опт}$ – средневзвешенное значение оптимальной мощности гумусового горизонта, учитывающее состав сельскохозяйственных культур в севообороте, мм; γ – плотность сложения почвы, т/м³; $V_э$ и $V_п$ – средние многолетние или обоснованные в соразмерной обеспеченности скорости эрозии

(и/или дефляции) и почвообразования соответственно, т/га в год. Показатель (T_2) позволяет оценить длительность возможного расходования почвенных ресурсов вплоть до полной их деградации при допустимой ныне среднемноголетней величине смыва.

Экспериментально $H_{кр}$ можно определить при переходе почвы в категорию сильноосмытой. Однако в этом случае при глубине вспашки не менее 20 см пахотный горизонт представляет собой турбированную смесь из оставшихся и припахиваемых слоев. Поэтому при сильном проявлении эрозии определить в профиле полевыми методами оставшуюся мощность гумусового горизонта практически невозможно. Но нахождение $H_{кр}$ возможно путем определения критического уровня плодородия сильноосмытой почвы по результатам анализа данных урожая определенных культур, выращенных на почве с фиксированной долей участия гумусового горизонта. В этих целях был поставлен вегетационный опыт, в котором моделировали пахотные горизонты сильноосмытого чернозема с определенной долей участия (по массе) гумусового горизонта (табл. 1). Полнопрофильная почва – чернозем южный тяжелосуглинистый (мощность гор. А – 35 см, в т.ч. $A_{пах}$ – 25 см,

гумусового горизонта – 63 см). Из почвенного разреза отобрали образцы одинакового объема с 20 см гор. АВ и 5 см переходного, т.е. доля почвы из гор. Вк составила 20%, а в последующих вариантах опыта эта доля достигала 40, 60, 80 и 100%. В качестве контроля использован уровень плодородия последних 25 см $H_{г}$, которые могут остаться в результате его эрозионной «сработки». Для сравнения приведены свойства современного пахотного горизонта. Урожай ячменя, полученный на почве из этого слоя, был больше в 2 раза (по надземной массе) и в 1,9 раз (по зерну), чем на контроле (последние 25 см $H_{г}$). По результатам опыта резкое уменьшение урожая зерна наблюдается для пахотного горизонта сильноосмытого чернозема с участием 15 см гумусового горизонта. Отсюда может быть получена ориентировочная оценка критического значения бонитета, упрощенного до произведения мощности гумусового горизонта на содержание гумуса в нем – $(H_{г} \Gamma)_{кр} = 26$. В аналогичных опытах для сельскохозяйственных культур, которые наиболее чувствительны к почвенному плодородию, резкое падение продуктивности наблюдается при снижении доли гумусированной почвы менее 20% по массе.

Таблица 1

Результаты вегетационного опыта по оценке критической мощности гумусового горизонта чернозема

Варианты опыта	Глубина отбора почвы, см	CO ₂	Гумус	Поглощенные основания, ммоль (экв)/100 г				Относительный урожай ячменя (Y/Y_{25})	
		%		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	надземная масса	зерно
$A_{пах}$	0–25	1,64	2,40	19,1	3,2	0,07	0,11	–	–
25 см АВ	37–62	2,00	1,48	21,4	4,8	0,07	0,11	1,00	1,00
20 см АВ и 5 см В _к	42–67	2,70	1,26	19,2	5,2	0,04	0,13	0,71	0,51
15 см АВ и 10 см В _к	47–72	8,32	1,05	18,4	4,8	0,07	0,10	0,51	0,08
10 см АВ и 20 см В _к	52–77	5,35	0,85	18,4	5,2	0,07	0,10	0,58	0,04
5 см АВ и 20 см В _к	57–82	7,11	0,83	15,8	5,6	0,04	0,11	0,53	0
25 см В _к	62–87	8,75	0,82	17,6	4,8	0,04	0,09	0,44	0,01

Оптимальное значение запаса почвенных ресурсов должно включать следующие оптимальные параметры:

1) мощность плодородного слоя почвы, которая обеспечивает урожай, сопоставимые с местоположениями с полнопрофильными почвами, и удовлетворяет потребности групп сельскохозяйственных культур с разным типом корневой системы;

2) содержание гумуса, обеспечивающее благоприятные водно-физические, фитосанитарные и технологические свойства почв.

При аппроксимации 92 зависимостей, отражающих изменение урожая 15 основных сельскохозяйственных культур от мощности гумусового горизонта – (H_{Γ} , см), получено уравнение:

$$Y = 2Y_{\max} \cdot \beta^{0,48(H_{\Gamma} + \Delta H_{\Gamma})} \cdot e^{-\beta(H_{\Gamma} + \Delta H_{\Gamma})^2}, (3)$$

где Y и Y_{\max} – фактический и максимальный урожай, ц/га; β – параметр, характеризующий положение максимума урожая при из-

менении H_{Γ} ; ΔH_{Γ} – параметр, зависящий от первичного плодородия почвообразующей породы.

Определив оптимальную мощность H_{Γ} по точкам перегибов кривых урожаев, графически выражающих уравнение (3) в логарифмических шкалах, и используя обобщенные данные по оптимальному содержанию гумуса, получим значения оптимальных запасов почвенного ресурса – $\left(H_{\Gamma} \bar{\Gamma}\right)_{\text{опт}}$ (табл. 2). Доступное время ресурсоиспользования (по параметру T_1) составляет 120–750 лет, но оно в основном пройдено за длительность современного этапа земледелия. В эрозионно опасных районах основной земледельческой зоны страны при современных темпах эрозии срок расходования почвенных ресурсов от оптимальных до критических значений (параметр T_2) оценивается в несколько столетий, но этот этап будет неизбежно сопряжен с ростом эколого-экономического ущерба.

Таблица 2

Расчетные значения потенциальной длительности расходования почвы (T_2) при выращивании полевых (зерновых и пропашных) сельскохозяйственных культур

Почвы	$(H_{\Gamma})_{\text{опт}}$	$\left(H_{\Gamma} \bar{\Gamma}\right)_{\text{опт}}$	T_1 , годы	T_2 , годы
Дерново-подзолистые	45*	99	0	0
Серые лесные	56	141	180	750
Черноземы:				
типичные	54	148	500	750
обыкновенные и южные	51	129	120	650
Каштановые	17	39	750	50

*Требуемая оптимальная величина обычно превышает фактическую.

Показатели, отражаемые формулами (1)–(2), применимы для диагностики состояния почвенных ресурсов с помощью оценки потенциальной длительности землепользования при сложившихся (средне-многолетних) темпах процессов эрозии и почвообразования. Для решения задач управления почвенными ресурсами, опре-

деления сценариев рационального землепользования необходимо обоснование временной функции их реализации.

Если величина исходного бонитета превышает оптимальную, может быть намечен сценарий землепользования, который обеспечит стабильное поддержание качества почвенного ресурса. При этом управляю-

щие воздействия ресурсовоспроизводящей направленности должны быть синхронизированы с динамикой декретируемых (в соответствии с экономическими возможностями) или расчетных допустимых эрозийных потерь почвы.

Ежегодные допустимые потери ресурсов почвенного плодородия могут быть рассчитаны по формуле, полученной из оптимизационной модели использования почвенных ресурсов Г.И. Швебса (1981):

$$\Delta(H\bar{G})_{(\text{доп})} = \frac{\gamma \left[(H_{\Gamma} \bar{G})_{\text{опт}} - (H_{\Gamma} \bar{G})_{\text{исх}} \right] (e^{-bt_1} - e^{-bt_2})}{(t_2 - t_1)}, \quad (4)$$

где $\Delta(H\bar{G})_{(\text{доп})}$ – ежегодные средние за интервал времени $(t_2 - t_1)$, годы, допустимые потери почвой гумуса, т/га; H_{Γ} – мощность гумусового горизонта, см; \bar{G} – среднее содержание гумуса в H_{Γ} , %; γ – объемная масса H_{Γ} , г/см³; b – параметр, зависящий от социально-экономических и экологических ограничений, в первом приближении равный 0,005.

Величина $(H\bar{G})_{\lambda_{\text{кр}}}$ может быть использована в качестве критерия диагностики состояния уже деградированных земель для их перевода в режим консервации (в т.ч. не сельскохозяйственного использования).

Работа выполнена по проекту (№ ГК П743) мероприятия 1.2.1 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.».

Список литературы

1. Бондаренко Ю.В., Афонин В.В., Майорова Д.С. Влияние мелиораций на энергетический потенциал почв эрозионноопасных агроландшафтов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2008. – №8. – С. 5–8.
2. ДСТУ 7081:2009. Ерозія ґрунту. Допустимі норми. Видання офіційне. – Київ: Держпоживстандарт України. – 2010.
3. Лисецкий Ф.Н. Посевы люцерны восстанавливают плодородие смытых почв // Земледелие. – 1989. – №11. – С. 30–31.

4. Лисецкий Ф.Н. Почвозащитное земледелие в США // Земледелие. – 1991. – №4. – С. 75–78.

5. Лисецкий Ф.Н. Региональный анализ проявления процессов эрозии и почвообразования (на примере Причерноморья УССР) // Вестник Моск. ун-та. – Сер. 5, география. – 1991. – №4. – С. 54–58.

6. Лисецкий Ф.Н. Экологическое обустройство аграрно освоенных территорий // Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. – 1996. – №3. – С. 58–68.

7. Первые итоги освоения контурно-мелиоративного земледелия / Ф.Н. Лисецкий [и др.] // Земледелие. – 1990. – №10. – С. 47–49.

8. Сухановский Ю.П. Методы моделирования эрозийных процессов и основы формирования противоэрозийных комплексов: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Курск, 2000. – 40 с.

9. Шелякин Н.М. Пути управления почвообразовательным процессом склоновых земель центра Русской равнины: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Харьков, 1993. – 71 с.

10. Elwell H., Stocking M. Estimating soil life-span for conservation planning // Tropical Agriculture. – 1984. – Vol. 61, № 2. – P. 148-150.

Рецензенты:

Булугин С.Ю., д.с.-х.н., профессор ФГОУ ВПО «Белгородская государственная сельскохозяйственная академия», Белгород;

Смирнова Л.Г., д.б.н., зав. лабораторией адаптивного растениеводства ГНУ «Белгородского НИИСХ Россельхоз академии», Белгород.

RESOURCES AND LOSS OF SOIL EROSION**Lisetskii F.N., Marinina O.A.***National Research University «Belgorod State University», Belgorod,
e-mail: liset@bsu.edu.ru*

This article shows the prospects for use of the integrated indicators, which are not only the rate of soil-forming and soil-depleting processes but the soil resources assessments, in the soil protective designing of the agrolandscape structure. The explanation of the optimal and critical values of soil resources has made it possible to determine the resources of soil fertility in the transzonal soil profile.

Keywords: soil erosion, soil fertility, soil loss tolerance, soil and water protective organization of the territory